

电动汽车充电桩对城市电网负荷的影响及优化调度方法

李勇力

哈尔滨市商业建筑工程有限公司, 中国·黑龙江 哈尔滨 150001

摘要: 随着电动汽车的普及, 充电桩对城市电网的负荷带来显著挑战, 包括电网负荷波动、基础设施瓶颈和用户充电行为的不确定性。通过智能化管理、分布式优化、价格激励及车网互动技术的应用, 可以有效实现充电桩的优化调度, 平衡电网负荷, 保障城市电网的安全与高效运行。同时, 政策支持、技术改进和用户引导是实现整体优化的关键因素, 确保电网与电动汽车充电需求的协调发展。

关键词: 价格激励; 整体优化

The Impact of Electric Vehicle Charging Piles on Urban Power Grid Load and Optimization Scheduling Methods

Yongli Li

Harbin Commercial Construction Engineering Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150001, China

Abstract: With the popularity of electric vehicles, charging piles pose significant challenges to the load of urban power grids, including grid load fluctuations, infrastructure bottlenecks, and uncertainty in user charging behavior. Through the application of intelligent management, distributed optimization, price incentives, and vehicle network interaction technology, it is possible to effectively optimize the scheduling of charging piles, balance power grid loads, and ensure the safe and efficient operation of urban power grids. Meanwhile, policy support, technological improvement, and user guidance are key factors in achieving overall optimization, ensuring the coordinated development of the power grid and electric vehicle charging demand.

Keywords: price incentives; overall optimization

0 前言

电动汽车的普及带来了新的挑战 and 机遇, 特别是在能源供应和电力基础设施的管理方面。随着电动汽车数量的快速增长, 充电桩的建设和电网的承载能力成为各大城市必须面对的问题。电动汽车充电不仅仅是单纯的能源补给活动, 更是对城市电网负荷的直接影响因素。充电行为的不确定性和大规模集中充电的特点, 使得城市电网在负荷波动和电力调度方面面临前所未有的压力^[1]。

充电桩的广泛分布在时间和空间上对电网负荷产生了显著的影响, 尤其是在用电高峰时段, 电网的负荷管理变得更加复杂。为了有效应对这些变化, 优化调度方法的研究成为重要课题, 通过科学合理的调度策略, 不仅可以缓解充电负荷对电网的冲击, 还可以提高整体能源利用效率和电网的运行稳定性。

1 电动汽车充电桩对城市电网负荷的影响

电动汽车的充电需求对城市电网的负荷分布和整体运行产生了重要影响。充电桩的大规模布置和电动汽车充电行为的随机性, 直接影响了电网的稳定性和负荷管理, 尤其是在高峰时段, 充电需求可能造成电网负荷激增, 给城市电力系统带来挑战。

1.1 城市电网结构与电动汽车充电需求的概述

城市电网主要由发电、输电、配电和用户用电组成。在传统电力系统中, 负荷需求主要依赖于家庭、商业和工业用户, 具有相对可预测的特征。而随着电动汽车的普及, 充电桩作为新兴的负荷主体逐渐占据了较大比例, 其负荷的随机性、瞬时性对电网结构提出了新的挑战。尤其是在快速充电需求下, 瞬间的高功率输出可能会对变电站、配电网等带来额外的压力, 增加系统的电力供应负担。

1.2 电动汽车充电特性对电网负荷的影响

电动汽车充电具有一定的特性, 如充电时间的不确定性和充电功率的多样性。通常情况下, 用户选择在下班后的傍晚和夜间进行充电, 这种集中充电的行为使得城市电网在用电高峰期面临更大的负荷压力。特别是在快速充电模式下, 单一车辆的充电功率可能高达几十千瓦, 集中多个车辆同时充电, 极易引发局部电网的负荷过载, 甚至引起局部停电。

不同类型的充电桩也影响了负荷对电网的冲击。例如, 慢充桩的功率相对较低, 负荷较为平稳, 而快充桩功率高, 对电网的瞬时冲击较大。而超快充桩的发展, 则进一步加剧了这一问题, 因其在较短时间内需要大量电力, 导致负荷的剧烈波动。这些特性使得电动汽车充电行为对城市电网的负荷管理变得很复杂, 迫切需要采取有效的调控手段进行管理。

1.3 充电桩负荷的时空分布特性

电动汽车充电需求具有明显的时空分布特性,这使得城市电网负荷呈现出显著的区域性差异。在城市中心、居民区和办公区等电动汽车集中使用的区域,充电桩的需求在特定时段集中爆发,使得这些区域的负荷在短时间内急剧上升,造成电网的不平衡。而在一些充电桩较少的区域,负荷相对较轻,这种不均衡的分布给城市电网的整体调度带来了挑战。

在时间上,电动汽车的充电高峰通常出现在傍晚至夜间,恰逢家庭用户的用电高峰,这种时间重叠导致了用电负荷的叠加效应,进一步增加了电网的调度难度。而在空间上,办公区和商业区的充电需求高峰出现在了白天,而居民区的充电高峰出现在晚上,如何平衡不同区域的负荷成为城市电网管理的关键问题之一。

1.4 峰谷负荷变化对电网稳定性的挑战

电动汽车充电行为的时空集中性,导致了城市电网的峰谷负荷差异进一步拉大。在用电高峰期,集中充电的需求增加了峰值负荷的压力,使得电网在短时间内需要应对巨大的功率需求。而在低谷时段,电动汽车的充电需求相对较少,导致电力资源的浪费。这种峰谷负荷差异的扩大,不仅降低了电网的运行效率,还增加了电力供应的波动性,对电网的安全性和可靠性构成威胁^[2]。

2 优化调度方法的理论基础

2.1 需求响应在电网中的应用

需求响应技术是电动汽车充电调度中的关键手段之一,可以通过调整用户的充电行为,可以在一定程度上减轻电网的峰值负荷压力。需求响应的基本原理是在用电高峰期通过经济激励手段引导用户推迟或降低用电需求,而在低谷时段鼓励用户增加用电,从而实现电网负荷的平衡。

在电动汽车充电场景中,需求响应可以通过差别电价政策实施。例如,通过动态电价使用户在电价较低的时段进行充电,从而减少在高峰期的充电需求。具体应用中,可以在用户的充电 APP 上显示当前及预测的电价情况,以此引导用户自主选择最佳的充电时间,减轻电网的压力。这种方法不仅能够平衡电网的峰谷负荷,还可以帮助用户节省充电费用,实现双赢。

2.2 分布式能源的接入与管理

分布式能源的接入为电动汽车充电桩的优化调度提供了新的思路和可能性。分布式能源包括太阳能、风能等可再生能源,这些能源可以与充电桩结合,形成能源的局部自给,从而减少对城市电网的直接负荷。尤其是在光伏发电的高峰期,分布式能源可以直接为充电桩提供能源支持,缓解电网的供电压力。

通过智能微电网的建设,可以实现分布式能源和充电桩的有效集成与管理。微电网可以在一定区域内通过自我调节实现能源的供需平衡,在光照充足时优先使用光伏发电为

电动汽车充电,而在电网负荷较高时减少从电网的取电量。分布式能源与电动汽车充电桩的结合不仅可以减少对城市电网的冲击,还能够推动清洁能源的利用和能源的可持续发展。

2.3 多目标优化模型与调度策略

优化电动汽车充电桩调度的另一个重要理论基础是多目标优化模型与调度策略。电动汽车充电的优化调度通常涉及多个目标,我们为了平衡这些目标,需要建立相应的多目标优化模型,利用数学规划和智能算法对调度策略进行求解^[3]。

2.4 数据驱动的负荷预测与智能调度

数据驱动的方法在优化调度中具有重要地位,尤其是在负荷预测与智能调度方面。电动汽车的充电行为具有随机性和复杂性,因此精准的负荷预测对于调度策略的设计和优化至关重要。基于机器学习和大数据分析技术,可以通过历史数据对电动汽车的充电负荷进行预测,以提高调度的准确性。

3 优化调度方法的具体设计与实现

3.1 充电桩的智能化管理

优化调度的首要任务是对充电桩的智能化管理,以便实现充电需求的有效调度和实时控制。通过在充电桩上集成物联网传感器、智能控制模块和通信设备,可以将每个充电桩的状态、用户充电需求以及实时功率消耗情况实时上传至中央管理平台,实现充电桩的智能化管理。

在中央管理平台上,可以对各个区域的充电桩进行统一调度。系统根据电网的实时负荷情况对充电桩进行开关管理、充电功率调节等操作。例如,当某一区域的负荷达到临界值时,系统可以自动调低部分充电桩的输出功率,或优先关闭那些电量已充至一定比例的车辆充电桩,以减轻局部负荷压力。同时,智能化管理还可以与充电预约系统联动,用户通过移动应用程序预约充电时间,系统提前做好负荷评估和调度安排,进一步提高充电过程的效率和便利性。

3.2 分布式优化与协调控制策略

由于电动汽车的充电行为具有分布特性,因此分布式优化与协调控制策略对于实现大规模电动汽车充电的优化调度至关重要。通过在城市电网中设立若干区域控制中心,每个控制中心负责辖区内充电桩的协调调度,可以实现对全市电动汽车充电的分布式优化。

在分布式控制中,每个控制中心可以独立完成对区域内充电负荷的平衡,通过与其他区域中心的协调通信,实现对全局负荷的整体优化。例如,某一区域在高峰时段负荷较高时,可以与其他区域进行协调,将部分充电需求引导至负荷较轻的区域,从而实现负荷的转移,避免电网局部过载的风险。此外,分布式优化还可以结合局部的分布式能源进行调度,优先利用可再生能源进行充电,减少对主电网的依赖,提高整体能源的利用效率。

3.3 基于价格激励的用户充电行为引导

通过价格激励引导用户充电行为,是优化调度的有效手段之一。电动汽车用户对充电价格敏感,因此动态调整电价可以有效调节用户的充电时间,减轻电网高峰负荷压力。在具体设计中,电力公司可以根据电网负荷的实时状况制定动态电价策略,如在高峰期适当提高电价,低谷期降低电价,从而引导用户在负荷低谷时段进行充电。

为进一步提升用户参与的积极性,可以设立积分奖励机制,在用户选择低谷时段充电时给予积分或其他优惠,用户可以累积积分用于后续的充电折扣或其他服务。此外,通过移动应用程序,用户可以实时了解当前电价、未来电价走势以及电网负荷情况,以便灵活选择最佳充电时间,这种透明的价格机制能够提高用户的参与度,并有效实现电网负荷的动态平衡。

3.4 车网互动技术在调度中的应用

车网互动技术为电动汽车与电网之间的双向互动提供了可能性,通过将电动汽车的电池作为储能装置,在电网负荷高峰期向电网反向供电,可以实现电网的负荷调节和平衡。在具体设计中,每个支持 V2G 的电动汽车充电桩需要具备双向电能传输的功能,用户可以选择在电价较高的时段将电力反馈至电网以获取补偿,从而提高电网的灵活性。

V2G 系统需要智能化的管理平台来协调充电和放电行为。在用电高峰期,平台可以控制某些充电桩切换至放电模式,支持电网的负荷削峰,而在电网负荷较低的时段则充电,以实现谷填效果。同时,车网互动还可以与需求响应结合,通过价格激励引导用户参与到 V2G 中来,既实现电网稳定运行,又为用户提供了额外的收益来源。通过优化 V2G 技术的应用,城市电网的负荷调度将更加灵活高效。

4 主要挑战与解决对策

4.1 电网的基础设施瓶颈

城市电网基础设施的瓶颈是实现充电桩优化调度的一大挑战之一。随着电动汽车数量的快速增加,电网负荷的需求大幅上升,现有配电网和变电站可能无法满足大量充电桩的并网需求,尤其在老旧城区,电力设施的更新与扩容受到空间、资金等多方面的限制,严重影响了充电桩的建设和运行。

为应对这一挑战,首先需要通过逐步更新和升级配电网设备,提高输电容量和供电可靠性。同时,我们还可以优先发展分布式能源和微电网系统,在局部地区通过光伏、风能等可再生能源为充电桩提供电力,减少对主电网的压力。此外,针对电网中关键节点的瓶颈问题,可以引入储能系统,储能设备在电力需求低谷时储存多余电能,在高峰期释放,从而提高电网的灵活性和稳定性。

4.2 用户充电行为的不确定性

电动汽车用户的充电行为具有高度不确定性,不同用

户的充电时间、充电频率以及充电功率存在较大差异,使得电网负荷预测和调度策略的制定变得复杂。特别是在电价不具备足够吸引力或用户缺乏对充电成本的敏感性时,充电行为的随机性会进一步增加,导致电网在高峰期的负荷压力增大。

为应对这一问题,可以通过数据驱动的用户行为预测模型来提升负荷预测的精度。基于用户的历史充电记录、出行习惯等数据,利用机器学习算法对用户的充电行为进行建模和预测,帮助电网提前制定合适的调度方案。同时,通过动态电价机制和充电预约系统,引导用户选择在电网负荷低谷时段进行充电。提高用户对电价变化的认知度和参与度,是降低充电行为不确定性的的重要手段。

4.3 优化调度系统的技术实现难题

优化调度系统的技术实现面临多种困难,包括数据收集的及时性和准确性、调度算法的复杂度以及实时控制的可行性等。首先,充电桩的分布范围广泛,不同区域的负荷情况差异较大,如何高效采集各个充电桩的数据并进行集中处理,是技术上的一大挑战。同时,调度算法的复杂性往往与问题规模呈指数增长,特别是在面对大规模充电桩和用户的场景下,求解效率和计算资源都需要考虑。

为解决这些技术难题,可以利用物联网和边缘计算技术来实现数据的实时采集和初步处理,降低中央服务器的负荷压力。边缘计算节点可以对本地数据进行快速分析,并提供初步的调度建议,再与中央系统进行协同调度。同时,为了提高调度算法的效率,可以采用启发式算法或并行计算的方法,结合人工智能和机器学习技术,通过不断学习和自我优化来提升调度决策的质量和效率。

4.4 政策与监管支持的不足

电动汽车充电桩优化调度的有效实施离不开政策和监管方面的支持。然而,现有政策往往更侧重于基础设施的建设,对充电调度的激励和管理措施相对不足。缺乏清晰的调度规则和利益分配机制,会导致利益相关方之间缺乏合作,从而影响整体优化调度的效果。

为应对这一挑战,政府需要出台相应的政策和激励措施,推动电动汽车充电桩的优化调度。同时,制定充电桩运营管理的标准化规定,确保不同充电运营商之间的数据互通和资源共享,以便实现城市范围内的统一调度。

参考文献:

- [1] 曾福至.考虑电动汽车充电负荷影响的配电网规划研究[D].广州:华南理工大学,2022.
- [2] 王湘.规模化电动汽车接入城市电网的交互稳定性及辅助服务研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [3] 杜习超,刘永民,徐则诚,等.电动汽车随机负荷建模及对配电网节点电压分布的影响[J].电力自动化设备,2018,38(6):7.